http://www.eecs.harvard.edu/emnets/papers/levisEmnets06.pdf **4.** *Иваненко В.А.* Анализ протоколов передачи данных от узлов в беспроводных сенсорных сетях [Текст]/ В.А. Иваненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2011. – 2/10 (50). – с. 9-12. **5**. 802.15.4-2011 - IEEE Standard for Local and metropolitan area networks [Электронный ресурс]// IEEE Standards Association. – 2011. – Режим доступа: http://standards.ieee.org/findstds/standard/802.15.4-2011.html. **6**. Спосіб позиціонування вузлів у бездротових сенсорних мережах [Текст]: пат. №u 2011 07648 Украина: МПК H04W 64/00/ Зеленин А.Н., Иваненко В.А.; заявитель и патентообладатель ХНУРЭ; заявл. 17.06.2011; опубл. 15.12.2011. – 6 с.

Поступила в редколлегию 11.05.2012

УДК 664:517.4

О.І. ТОРЯНИК, докт.техн.наук, проф., ХДУХТ, Харків,
О.Г. ДЬЯКОВ, канд.техн.наук, доц., ХДУХТ, Харків,
Ж.В. ВОРОНЦОВА, канд.пед.наук,доц., ХДУХТ, Харків

ЗАСТОСУВАННЯ MathCAD ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СКЛАДНОЇ НЕЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ

Проведено дослідження щодо використання програми MathCAD для визначення параметрів складної нелінійної моделі. Розглянуто числовий приклад та здобуті результати обчислення параметрів моделі. Знайдені результати показали доцільність використання MathCAD для дослідження складних нелінійних моделей об'єктів до яких відносяться харчові продукти.
Ключові слова: нелінійна модель, ітераційні методи, критерій найменших квадратів.

Проведено исследование по использованию программы MathCAD для определения параметров сложной нелинейной модели. Рассмотрен числовой пример и получены результаты вычисления параметров модели. Полученные результаты показали целесообразность использования MathCAD для исследования сложных нелинейных моделей объектов, к которым относятся пищевые продукты.
Ключевые слова: нелинейная модель, итерационные методы, критерий наименьших квадратов.

The researches for application of the software MathCAD for determination of parameters of nonlinear composite model are conducted. A numerical example and the results of calculation of model parameters are got. The got results of the use of MathCAD for research of composite nonlinear models which food products behave to are reasonable.
Keywords: nonlinear model, iteration techniques, the criterion of least squares.

1. Вступ

Головним завданням, яке стоїть перед сучасними харчовими виробництвами є створення продуктів із заздалегідь заданими властивостями. Одним із основних напрямків рішення цих завдань є широке використання сучасних методів математичного моделювання. Це дає змогу суттєво скоротити час дослідження та підвищити ефективність роботи науко-дослідницьких шкіл.

2. Постановка проблеми

Підвищення вимог до якості та точності проведення наукових досліджень у харчовій промисловості призводить до необхідності використання для проведення досліджень більш складних математичних моделей типовими представниками яких є нелінійні моделі [1, 2]. Дана модель може бути записана у наступному вигляді

$$y^i = f(x_1^i, \ldots, x_m^i, a_i, \ldots, a_p), \quad (1)$$

де $x_j^i - m$ незалежних змінних ($j=1$, m; $i=1$, N); y^i – значення залежної змінної точці $x_j^i (i = 1, N)$, $a_i = (i = 1, p) -$ невідомі параметри.

У практичних задачах значення змінних, що входять до рівняння (1), не відомі. Але після проведення експериментів за допомогою методу найменших квадратів можна знайти відповідні оцінки $\hat{y}, \hat{x}, \hat{a}$ для яких має місце рівняння

$$\hat{y}^i = f(\hat{x}_1^i, \ldots, \hat{x}_m^i, \hat{a}_i, \ldots \hat{a}_p),$$

де $\hat{y}, \hat{x}, \hat{a}$ – розраховані значення, що відповідають істинним значенням $\bar{y}, \bar{x}, \bar{a}$.

При проведенні експериментів передбачається, що відсутня систематична похибка вимірювання, дисперсія вимірювань обмежена і тому із значень $\hat{y}, \hat{x}, \hat{a}$, що знайдені за результатами N спостережень можна знайти значення $\bar{y}, \bar{x}, \bar{a}$ якщо N наближається до нескінченості. Це твердження має місце якщо рівняння (1) адекватно відтворює взаємозв'язки між залежними та незалежними змінними досліджуваної моделі. Однак визначення параметрів нелінійної моделі задача набагато складніша ніж для лінійних моделей.

3. Аналіз досліджень і публікацій

Під оцінкою параметрів за допомогою критерію найменших квадратів розуміють оцінки, що відповідають наступному рівнянню

$$S = \sum_{i=1}^{N} \left(\tilde{y}^i - f(\tilde{x}^i, a) \right)^2, \quad (2)$$

де $\tilde{y}^i$, $\tilde{x}_j^i$ – результати вимірювання y^i та x^i.

Для кращого узгодження виміряних та розрахованих значень можна використовувати й інші критерії. З сучасної точки зору важко оцінити переваги різних критеріїв але треба враховувати і можливості стандартних програмних засобів, що використовують при розв'язуванні подібних задач. У більшості випадків при обчисленні за критерієм (2) використовують спеціальні програми, які дозволяють провести повний статистичний аналіз [2, 3]. Однак більш доцільним є застосування інтеграційних підходів на основі використання стандартних універсальних програмних продуктів до яких можна віднести MathCAD [4]. MathCAD являє собою сукупність різноманітних універсальних програм, які дозволяють розв'язувати будь-які складні задачі. Але вона має і свої особливості у використанні. Застосування стандартних математичних пакетів для визначення параметрів складної нелінійної математичної моделі є актуальною задачею.

4. Мета та завдання статті

Метою даної статті є обґрунтування підходів щодо обчислення експериментальних даних при проведенні досліджень з використанням складних нелінійних моделей. Основна увага буде приділена питанням обчислення з використанням пакету MathCAD.

Для знаходження оцінки параметрів з рівняння (2) необхідно диференціювати (2) по *a*. Це дає можливість отримати *p* нормальних рівнянь, які треба розв'язати відносно *a* щоб знайти оцінки вектора *θ,* який являє собою вектор невідомих коефіцієнтів моделі.

Система нормальних рівнянь має вигляд

$$\sum_{i=1}^{N}\left(y^i - f(x^i,\hat{a})\right)\left[\frac{\partial f(x^i,a)}{\partial a_i}\right]_{a=\hat{a}} = 0, \qquad (3)$$

де величина у квадратних дужках – значення частинної похідної $f(x^i,a)$ по a_i коли всі ***a*** замінені на відповідні оцінки $\hat{a}$ з тим же індексом.

Якби $f(x^i,a)$ була лінійною функцією, то всі похідні залежали від *x*. У даному випадку знаходження аналітичного рішення системи (3) можливо тільки при відносно простому вигляді $f(x^i,a)$. Найбільша складність знаходження рішення (3) полягає у тому, що попередньо треба знати істинне значення параметра *a,* яке до проведення повних розрахунків невідомо. Тому для визначення коефіцієнтів *a* необхідно використовувати ітераційні методи основними з них є: метод лінеаризації, метод найскорішого спуску, метод Маркардта [2]. Ці методи у більшості випадків реалізовані у відповідних програмних засобах. Розглянемо використання пакету MathCAD для визначення параметрів складної нелінійної математичної моделі. Модель та числові дані експерименту наведені в [3].

За умовою задачі необхідно визначити параметри наступної нелінійної моделі виду

$$f(x) = af_1(x) + (1-a)f_2(x). \qquad (4)$$

Теоретична модель являє собою лінійну комбінацію двох основних функцій f_1 та f_2

$$f_1(x) = \frac{x}{b^3\sqrt{2\pi}}exp\left(-\frac{x^2}{2b^2}\right)$$

$$f_2(x) = -\frac{1}{2\beta^2\sqrt{2\pi}}\left[t_1\,exp\left(-\frac{t_1^2}{2}\right) + t_4\,exp\left(-\frac{t_4^2}{2}\right)\right] -$$

$$-\frac{\sqrt{\beta/\alpha}}{2\beta^2\sqrt{6\pi}}\int_{t_1}^{t_3}\sqrt{t_3 - t}\left(1-t^2\right)exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt +$$

$$+\frac{\sqrt{\beta/\alpha}}{2\beta^2\sqrt{6\pi}}\int_{t_2}^{t_4}\sqrt{t - t_2}\left(1-t^2\right)exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)dt,$$

де $t_1 = \frac{-2\alpha - x}{\beta}, \quad t_2 = \frac{-\alpha - x}{\beta}, \quad t_3 = \frac{\alpha - x}{\beta}, \quad t_4 = \frac{2\alpha - x}{\beta}$.

Експериментальним шляхом для еквідістантних вимірювань (приблизно 30 точок) були одержані значення $\tilde{y}^i$.

Таким чином з експерименту треба визначити a, b, α, β. Причому дві величини входять до меж інтегралу.

В [3] для знаходження параметрів використовувався спеціально розроблений комплекс програм, який дозволяв визначити параметри математичної моделі та обчислити можливі межі зміни знайдених параметрів.

Розглянемо процес обчислення параметрів математичної моделі шляхом використання критерію (2). Відповідно за правилами MathCAD [4] запишемо критерій (2) у вигляді

$$S(\alpha,\beta,a,b)=\sum_{i=1}^{29}(y_i-f(x_i,\alpha,\beta,a,b))^2 \ . \tag{5}$$

Далі створюємо два вектори ***y*** та ***x*** вхідних та вихідних даних, які будуть використані при розрахунках. Для обчислення за критерієм (5) буде використана функція оптимізації Minimize, яка використовується при пошуках відповідних екстремальних значень. Основна складність використання цього підходу полягає у необхідності попередньо задати початкову точку, з якої починає працювати дана програма. У більшості випадків ця точка визначається або шляхом всебічного аналізу об'єкта дослідження, або шляхом постановки спеціальних дослідів. Іноді доречно використовувати відповідні експертні оцінки. Остаточно підготовлений для розрахунків вираз має вигляд

$$P=Minimize(S,\alpha,\beta,a,b)\,. \tag{6}$$

Для початку обчислень було обрано наступні значення: $\alpha=2{,}5;\ \beta=1{,}3;\ a=0{,}1;\ b=2{,}8$. В результаті проведення розрахунків було визначено вектор ***P,*** який має наступні значення для оцінки параметрів моделі $\hat{\alpha}=4{,}213;\ \hat{\beta}=1{,}903;\ \hat{a}=0{,}187;\ \hat{b}=1{,}913$.

На рис. 1 наведені експериментально здобуті данні *y* та дані, знайдені за допомогою математичної моделі.

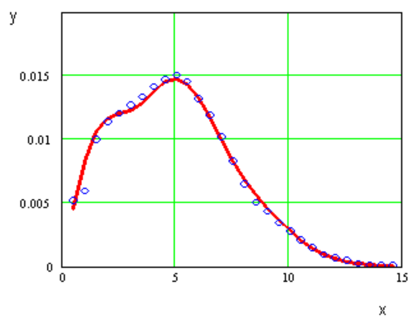

Рис.1. Графік результатів моделювання

Показник неадекватності моделі розрахований за допомогою (5), має значення $S=6{,}691\cdot 10^{-4}$. Якщо порівняти знайдені дані з наведеними у [3] то вони дещо відрізняються. Можливо це обумовлено тим, що при проведенні розрахунків в [3] були використані дані щодо дисперсії спостережень при проведенні дослідів, але ці дані у роботі не наведені. Тому подальше дослідження моделі буде проходити як для досліджень, при проведенні яких у кожній точці було проведено лише одне вимірювання.

Подальшою метою дослідження даної моделі є визначення довірчих інтервалів щодо її параметрів. Для цього необхідно знайти матрицю *F* виду

$$F=\begin{vmatrix} z_{1,1} & z_{2,1} & \cdots & z_{p,1} \\ z_{1,2} & z_{2,2} & \cdots & z_{p,2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ z_{1,N} & z_{2,N} & \cdots & z_{p,N} \end{vmatrix}, \tag{7}$$

де $z_{i,j}=\left[\dfrac{\partial f(x_j,\theta)}{\partial \theta_i}\right]_{\theta=\theta_0}$, $\theta=|\alpha,\beta,a,b|$ – вектор коефіцієнтів, який треба обчислити, θ_0 – вектор коефіцієнтів, який знайдений шляхом обчислення за виразом (6).

Для обчислення відповідних похідних матриці Z доцільно застосувати символічне обчислення, вважаючи складність досліджуваної функції.

Введемо позначення

$$k1=\frac{d}{d\alpha}f(x,\theta),\ k2=\frac{d}{d\beta}f(x,\theta),\ k3=\frac{d}{da}f(x,\theta),\ k4=\frac{d}{db}f(x,\theta). \tag{8}$$

Однак безпосередньо обчислення похідних викликає певні складності. Як приклад приведемо тільки вигляд похідної k3 та k4.

$$\frac{d}{da}f(x,\alpha,\beta,a,b)=\frac{1}{4\beta^2}\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}exp\left(\frac{-1}{2}\frac{x^2}{b^2}\right)\cdot$$

$$\left\{\frac{(2\alpha-x)}{\beta}exp\left[\frac{-1}{2}\frac{(-2\alpha-x)^2}{\beta^2}\right]+\frac{(2\alpha-x)}{\beta}exp\left[\frac{-1}{2}\frac{(2\alpha-x)^2}{\beta^2}\right]\right\}+$$

$$\frac{1}{12}\frac{\sqrt{\beta/\alpha}}{\beta^2}\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{\pi}}\int_{\frac{(-2\alpha-x)}{\beta}}^{\frac{(\alpha-x)}{\beta}}\left[\frac{(\alpha-x)}{\beta}-t\right]^{\frac{1}{2}}(1-t^2)exp\left(\frac{-1}{2}t^2\right)dt\ -$$

$$-\ \frac{1}{12}\frac{\sqrt{\beta/\alpha}}{\beta^2}\frac{\sqrt{6}}{\sqrt{\pi}}\int_{\frac{(-\alpha-x)}{\beta}}^{\frac{(2\alpha-x)}{\beta}}\left[t-\frac{(\alpha-x)}{\beta}\right]^{\frac{1}{2}}(1-t^2)exp\left(\frac{-1}{2}t^2\right)dt\,. \tag{9}$$

$$\frac{d}{db}f(x,\theta)=\frac{-3}{2}a\frac{x}{\beta^4}\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}exp\left(\frac{-1}{2}\frac{x^2}{b^2}\right)+\frac{1}{2}a\frac{x^3}{b^6}\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\pi}}exp\left(\frac{-1}{2}\frac{x^2}{b^2}\right). \tag{10}$$

Щодо обчислення похідної к2 то її, наприклад, неможливо вивести на екран монітору. Тому подальші розрахунку треба проводити у пам'яті комп'ютера і вивести тільки остаточний результат. Після визначення матриці F необхідно знайти дисперсійну матрицю $Z=(F^T\cdot F)^{-1}$, яка має остаточний вигляд (рис. 2).

$$Z:=\begin{pmatrix} 6.548\times10^4 & -3.351\times10^4 & 1.349\times10^4 & 3.704\times10^4 \\ -3.351\times10^4 & 2.211\times10^4 & -6.979\times10^3 & -1.646\times10^4 \\ 1.349\times10^4 & -6.979\times10^3 & 2.926\times10^3 & 8.253\times10^3 \\ 3.704\times10^4 & -1.646\times10^4 & 8.253\times10^3 & 2.637\times10^4 \end{pmatrix}$$

Рис. 2. Матриця експерименту

Діагональні елементи матриці *Z* визначають відповідну дисперсію коефіцієнтів моделі і дозволяють знайти межі відхилення коефіцієнтів на основні використання розподілу t^2. Для 90% довірчого інтервалу та загальної кількості вимірювань знаходимо значення розподілу t^2. Воно дорівнює $\varepsilon=1{,}708$.

Для кожного коефіцієнта моделі повинно виконуватися наступне рівняння [2]

$$\left|\hat{a}_i-\bar{a}_i\right|<\varepsilon\sqrt{Z_{i,i}}\,s, \tag{11}$$

де s – оцінка дисперсії моделі, яка дорівнює s^2=S/(N-p).

Остаточно для коефіцієнтів досліджуваної моделі можна записати: $\alpha=4{,}213\pm0{,}225$ $\beta=1{,}903\pm0{,}07$ $a=0{,}187\pm0{,}048$ $b=1{,}913\pm0{,}143$.

Знайдені межі числових даних відрізняються від наведених у [3]. Це також обумовлено тим, що при розрахунках довірчого інтервалу вважалося, що у кожній точці експерименту проводиться одне вимірювання хоча, як наведено в

[3], проводилося декілька вимірювань. Однак числової інформації про це у роботі не наведено.

Далі за допомогою програми MathCAD визначимо сингулярні значення матриці Z [5], які дають можливість оцінити обумовленість моделі. Максимальне та мінімальне значення відповідно дорівнюють: 6,283; 327,811. Їх відношення дорівнює 52,174 що вказує на відносно добру обумовленість даної моделі. З метою оцінки структури моделі знайдемо значення кореляції між коефіцієнтами моделі. Кореляційна матриця K знаходиться на основі матриці Z і має вигляд (рис. 3)

$$K := \begin{pmatrix} 1 & -0.881 & 0.975 & 0.891 \\ -0.881 & 1 & -0.868 & -0.682 \\ 0.975 & -0.868 & 1 & 0.94 \\ 0.891 & -0.682 & 0.94 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 3. Кореляційна матриця коефіцієнтів

З неї видно, що існує певна кореляція між коефіцієнтами моделі, однак вона ще недостатньо велика щоб вважати дану модель переметризованою. Кореляція між коефіцієнтами може означати, що для даної досліджуваної моделі на множині даних деяка вихідна величина змінюється недостатньо, щоб її вплив був суттєвий. В цілому можна вважати, що дана модель відносно адекватно відтворює досліджуваний процес.

5. Висновки

Проведені дослідження показали можливість використання MathCAD для дослідження складних нелінійних моделей з метою визначення їх параметрів. Розглянутий метод може успішно використовуватися в харчових технологіях. Показана доцільність використання методу символічного обчислення при проведенні розрахунків. Встановлено, що при складних співвідношеннях не завжди можливо отримати знайдений результат на дисплеї. Тому при обчисленні складних нелінійних моделей використання інших програм (наприклад, Genfit) може складати значні труднощі, тому що неможливо вивести формулу похідної на дисплей.

У такому разі доцільно проводити числові обчислення із збереженням результатів попередніх обчислень у пам’яті комп’ютера без виводу їх на дисплей. Остаточний результат, який має суттєво меншу складність можна вивести для подальшого аналізу. Так було зроблено при обчисленні матриці *Z,* елементи якої обчислювалися без виводу попередніх значень на екран.

Незначні відхилення здобутих результатів обумовлені недостатньою кількістю інформації щодо експериментальних значень. Однак здобуті результати відповідають критеріям достовірності і можуть бути використані для подальшого дослідження.

Щодо визначення адекватності даної моделі, то ця оцінка дещо складніше ніж для лінійної моделі. Вона може бути зроблена на основі матриці *Z* і даних про дисперсію вимірювання.

Подальше дослідження моделі з метою встановлення її адекватності показало, що не зважаючи на відносно великі значення коефіцієнтів кореляції дану модель можна використовувати для аналізу досліджуваного процесу. Проведені розрахунки показали також доцільність використання MathCAD при дослідженні складних нелінійних моделей, що використовуються при дослідженні складних об’єктів до яких відносяться харчові продукти.

Список літератури: **1.**Методы исследований и организация экспериментов [Текст] / под ред. проф. К.П. Власова. – Х.: Гуманитарный центр, 2002. – 256 с. **2.***Дрейпер, Н.* Прикладной регрессионный анализ [Текст] / Н. Дрейпер, Г. Смит – М.: Вильямс, 2007. – 912 с**.** **3.***Хартман, К.* Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов [Текст] /. К. Хартман и др. – М.: «Мир». 1977, 552 с. **4.***Льяконов, В.П.* Mathcad 11/12/13 в математике [Текст] / В.П. Льяконов // Справочник. – М.:Горячая линия – Телеком, 2007. – 928 с. **5.***Гантмахер, Ф.Р.* Теория матриц [Текст] / Ф.Р. Гантмахер М.: «Наука». 1967, 576 с.

Поступила в редколлегию 12.05.2012

УДК 65.011.56

И. А. КРИВОРОТЕНКО, студ., ХНУРЭ, Харьков,
Е. П. ПАВЛЕНКО, канд.техн.наук, доц., ХНУРЭ, Харьков

РАЗРАБОТКА WEB-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРИЛОЖЕНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ КОМПАНИИ «PEOPLESOFT»

Розглянена проблема обліку розробки програмного забезпечення компанії «PeopleSoft». Досліджені основні тенденції розробки Web-додатку з використанням мови високого рівню Java, також проведено порівняння фреймворку Spring та технології Enterprise Java Beans.
Ключові слова: управління проектами, Spring framework

Рассмотрена проблема учета разработки программного обеспечения компании «PeopleSoft». Исследованы основные тенденции разработки Web-приложений с использованием языка высокого уровня Java, а также проведено сравнение фреймворка Spring и технологии Enterprise Java Beans.
Ключевые слова: управление проектами, Spring framework

It was considered the problem of accounting for software development company «PeopleSoft». It was researched the main trends of development Web-oriented applications with using high-level language Java, also it was compared Spring Framework and Enterprise Java Beans Technology.
Keywords: project management, Spring Framework

1. Введение

В настоящее время с целью эффективного управления бизнесом предприятия все шире используют информационные технологии. Внедрение информационных технологий в работу предприятия позволяет автоматизировать ряд бизнес-процессов, сократить время на их выполнение, а также повысить качество производимой продукции или предоставляемых услуг.

В последнее время очень популярными являются веб-ориентированные системы, которые позволяют эффективно и своевременно обеспечивать сотрудников необходимой информацией. Веб-ориентированные системы подразумевают, что вся бизнес-логика вынесена на сервер, а клиенту предоставляется только интерфейс. Для реализации этой части приложения можно использовать язык Java, который хорошо зарекомендовал себя в разработке корпоративных веб-приложений.

2. Постановка задачи

Компания «PeopleSoft» занимается разработкой программного обеспечения для различных сфер деятельности. Компания работает с большим количеством программных проектов, и в связи с этим возникает необходимость в автоматизации процесса их учета. Разработанное приложение позволит вести